

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-270801

(43)Date of publication of application : 09.10.1998

(51)Int.Cl.

H01S 3/18

H01L 33/00

(21)Application number : 09-071017

(71)Applicant : SHARP CORP

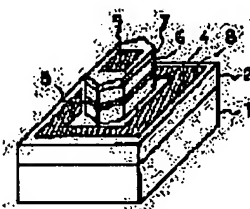
(22)Date of filing : 25.03.1997

(72)Inventor : TERAGUCHI NOBUAKI

(54) NITRIDE III-V COMPOUND SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING DEVICE AND ITS MANUFACTURE**(57)Abstract:**

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve the current-light output characteristic of a nitride III-V compound semiconductor light emitting device when the laser of the element is oscillated and, at the same time, to reduce the threshold current by forming a nitride III-V compound multilayer semiconductor light emitting device into a hexagonal prism and using the two parallel surfaces of the hexagonal prism as resonator surfaces.

SOLUTION: A hexagonal prism-like laser is formed in such a way that, after a conductive GaN single-crystal thin film 2 is grown non a substrate 1 with a buffer layer in between, an SiO₂ film 3 is deposited on the thin film 2 and hexagonal windows are lithographically formed through the film 3 by applying a resist to the film 3. Then the SiO₂ film 3 is partially etched off to the thin film 2 and the resist is removed. After the resist is removed, a conductive AlGaIn clad layer 4 is grown in each window section and an undoped InGa active layer 5, a conductive AlGaIn clad layer 6, a conductive GaN contact layer 7 are successively grown on the clad layer 4 and electrodes 8 and 9 are formed. Since the two parallel resonator surfaces of the hexagonal prism structure have flatness of an atomic order, the occurrence of light losses can be reduced.

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination]

02.12.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

BEST AVAILABLE COPY

THIS PAGE BLANK (USPTO)

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

THIS PAGE BLANK (USPYO)

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-270801

(43) 公開日 平成10年(1998)10月9日

(51) Int.Cl.⁸

識別記号

F 1

H 0 1 S 3/18

H 0 1 S 3/18

H 0 1 L 33/00

H 0 1 L 33/00

C

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平9-71017

(22) 出願日 平成9年(1997)3月25日

(71) 出願人 000005049

シャープ株式会社

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号

(72) 発明者 寺口 信明

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号

シャープ株式会社内

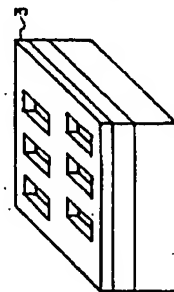
(74) 代理人 弁理士 梅田 勝

(54) 【発明の名称】 窒化物系 III-V 族化合物半導体発光素子とその製造方法

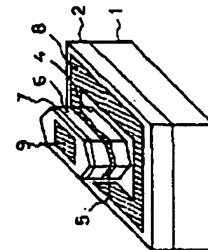
(57) 【要約】

【課題】 窒化物系 III-V 族化合物半導体装置において、へき開あるいはエッチング等を用いずに平坦な共振器面あるいはストライプ構造を作製することを目的とする。

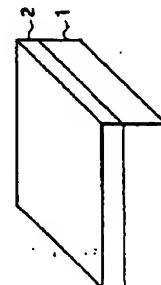
【解決手段】 窒化物系 III-V 族化合物半導体装置において、基板上に選択成長させて形成された六角柱構造の平行となる2つの面を共振器面として用いることを特徴とする。



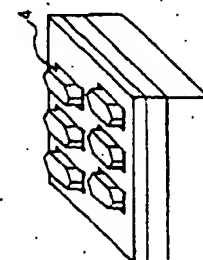
(b)



(d)



(a)



(c)

【特許請求の範囲】

【請求項1】 窒化物系ⅢⅠⅠ-V族化合物半導体を積層して形成された窒化物系ⅢⅠⅠ-V族化合物半導体発光素子において、前記窒化物系ⅢⅠⅠ-V族化合物半導体が六角柱状であり、前記六角柱の平行となる2つの平面を共振器面とする窒化物系ⅢⅠⅠ-V族化合物半導体発光素子。

【請求項2】 前記共振器面のうち、1組の対向面積に対して他の2組の対向面積を0.2以下とすることを特徴とする請求項1に記載の窒化物系ⅢⅠⅠ-V族化合物半導体発光素子。

【請求項3】 基板上に第1の窒化物系ⅢⅠⅠ-V族化合物半導体を成長させる工程と、

前記第1の窒化物系ⅢⅠⅠ-V族化合物半導体上に酸化膜を形成する工程と、

前記第1の窒化物系化合物半導体を露出させるまで、前記酸化膜を部分的にエッチングして窓を形成する工程と、

前記窓から六角柱構造の第2の窒化物系ⅢⅠⅠ-V族化合物半導体を成長させることを特徴とする窒化物系ⅢⅠⅠ-V族化合物半導体発光素子の製造方法。

【請求項4】 前記窓の形状が六角形であり、平行となる1組の対向長さを1とした場合に、他の2組の対向長さが0.2以下とすることを特徴とする請求項3に記載の窒化物系ⅢⅠⅠ-V族化合物半導体発光素子の製造方法。

【請求項5】 前記窓の形状が長方形であり、短辺に対する長辺の長さが $2.2/(7 \times (3)^{0.5})$ 以上の比とすることを特徴とする請求項3に記載の窒化物系ⅢⅠⅠ-V族化合物半導体発光素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、窒化物系ⅢⅠⅠ-V族化合物半導体発光素子とその製造方法に関し、特に六角柱構造を用いた窒化物系ⅢⅠⅠ-V族化合物半導体発光素子とその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】一般的に、レーザの共振器面の作製には、基板のへき開性を用いた方法が使われている。しかしながら、通常、窒化物系ⅢⅠⅠ-V族化合物半導体発光素子に用いられるサファイア基板はへき開性がなく、特開平8-17803号公報に記載されているように、絶縁体であるサファイア基板上に積層した窒化物系ⅢⅠⅠ-V族化合物半導体発光素子を下側のコンタクト層までドライエッチングすることで共振器を形成している。

【0003】また、スピネル基板($MgAl_2O_4$)を用いて作製した窒化物系化合物半導体発光素子では、"InGaN multi-quantum-Well structure laser diodes grown $MgAl_2O_4$ Substrates", S. N

akamura et al., Appl. Phys. Lett. 68 (1996) pp2105~2107に記載されている。図13に従来のⅢⅠⅠ-V族化合物半導体発光素子の断面図を示す。符号1は基板、2は第1導電型Ga_{0.2}N単結晶薄膜、3はSiO₂膜、4は第1導電型Al_{0.2}Ga_{0.8}Nクラッド層、5はアンドープのIn_{0.15}Ga_{0.85}N活性層、6は第2導電型Al_{0.2}Ga_{0.8}Nクラッド層、7はp型Ga_{0.2}Nコンタクト層、8は第1導電側電極、9は第2導電側電極である。このⅢⅠⅠ-V族化合物半導体発光素子では窒化物系ⅢⅠⅠ-V族化合物半導体のポリッシングによる共振器の形成が行われている。あるいは"High-quality GaN epitaxial layer grown by metalorganic vapor phase epitaxy on (111) $MgAl_2O_4$ Substrate", A. kuramata et al., Appl. Phys. Lett. 67 (1995) pp2521~2523に記載されているようにスピネル基板($MgAl_2O_4$)のへき開性を用いた共振器の形成が行われている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】へき開性のあるスピネル基板を用いることで共振器面の形成は容易に可能となるが、サファイア基板やスピネル基板は絶縁性であり、基板のへき開性を用いて共振器を形成したとしても下側の電極を形成するために、ドライエッチングによって上側のストライプ電極の側面をエッチングする必要がある。しかしながら、エッチングによって形成されたストライプの側面は平坦でなく、レーザ発振における光損失に大きく影響し、レーザ発振のしきい値電流の増大を招く問題が生じた。

【0005】本発明は、上に述べた問題点を解決する共振器端面およびストライプ側面の形成方法を見出し、レーザ発振の低しきい値電流化を図ることを目的としている。

【0006】

【課題を解決するための手段】本発明の窒化物系ⅢⅠⅠ-V族化合物半導体発光素子は、窒化物系ⅢⅠⅠ-V族化合物半導体を積層して形成された窒化物系ⅢⅠⅠ-V族化合物半導体発光素子において、前記窒化物系ⅢⅠⅠ-V族化合物半導体が六角柱状であり、前記六角柱の平行となる2つの平面を共振器面とすることを特徴とする。

【0007】前記共振器面のうち、1組の対向面積に対して他の2組の対向面積を0.2以下とすることを特徴とする。

【0008】また、窒化物系ⅢⅠⅠ-V族化合物半導体発光素子の製造方法は、基板上に第1の窒化物系ⅢⅠⅠ-V族化合物半導体を成長させる工程と、前記第1の窒化物系ⅢⅠⅠ-V族化合物半導体上に酸化膜を形成する

工程と、前記第1の窒化物系化合物半導体を露出させるまで、前記酸化膜を部分的にエッチングして窓を形成する工程と、前記窓から六角柱構造の第2の窒化物系III-V族化合物半導体を成長させることを特徴とする。

【0009】前記窓の形状が六角形であり、平行となる1組の対向長さを1とした場合に、他の2組の対向長さが0.2以下とすることを特徴とする。

【0010】また、前記窓の形状が長方形であり、短辺に対する長辺の長さが $22/(7 \times (3)^{0.5})$ 以上の比とすることを特徴とする。

【0011】

【発明の実施の形態】

（実施の形態1）図1に、六角柱形状レーザを作製する場合の製造工程断面図を示す。基板1上に、図示しないが低温成長Ga_{0.9}Nバッファ層を介して、第1導電型のGa_{0.9}N単結晶薄膜2をMOCVD法によって成長する。この時の製造工程の斜視図を図1(a)に示す。

【0012】次に、第1導電型のGa_{0.9}N単結晶薄膜2の上にCVD法によりSiO₂膜3を堆積し、その上にレジストを塗付し、フォトリソグラフィによって六角形状の窓を形成する。次に、レジストをマスクとしてドライエッチングにより部分的にSiO₂膜3を第1導電型のGa_{0.9}N単結晶薄膜2まで除去し、さらにレジストを除去する。この時の製造工程の斜視図を図1(b)に示す。

【0013】次に、基板1を再びMOCVD装置内に導入し、SiO₂膜3をマスクにして選択成長を行い、窓部分に順次、第1導電型AlGa_{0.8}Nクラッド層4を成長させる。

【0014】さらに、連続してアンドープInGa_{0.8}N活性層5、第2導電型AlGa_{0.8}Nクラッド層6、第2導電型Ga_{0.9}Nコンタクト層7を成長させる。最後に、SiO₂膜3を除去し、フォトリソグラフィを用いて第1導電側電極8、第2導電側電極9を形成し、チップ分割することでレーザが作製できる。この時の製造工程の斜視図を図1(d)に示す。

【0015】窒化物系III-V族化合物半導体の結晶成長条件を選ぶことによって窓部分にのみ結晶成長することが可能となる。この場合、MOCVD法がより優れた結晶成長法であった。

【0016】また、窓部分に成長させる六角柱は、成長の初期段階より1つの結晶核からその結晶を徐々に大きくしていくことがより好ましい。しかしながら、成長の初期段階で複数の六角柱が発生した場合でも、結晶成長速度を最適化することによってそれぞれの六角柱が結合し、1つの六角柱にすることができる。六角柱の面内方向の成長は、窓のパターンに達すると停止し、その後は面に垂直な方向にのみ成長が進行する。

【0017】本実施の形態では、異なる3つの六角形状の窓から選択成長させた窒化物系III-V族化合物半

導体発光素子を作製した。この時の窓の形状を図2に示す。図2(a)に示す窓の形状は正六角形であり、1辺aを30μmとした。

【0018】図2(b)に示す窓のパターン形状は、平行となる1組の対向長さを1とした場合に、他の2組の対向長さを0.2とした形状である六角形であり、短辺aを30μm、長辺を65μmとした。ここで、対向長さとは平行な辺に垂線を引いてできる最大の長方形での短辺の長さのことである。

【0019】また、図2(c)に示す窓のパターン形状は平行となる1組の対向長さを1とした場合に、他の2組の対向長さを0とした形状であり、短辺aを30μm、長辺を90μmとした。

【0020】このような窓から形成したレーザの層構造は、n型Ga_{0.9}N層（膜厚0.2μm、キャリア濃度 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ）、n型Al_{0.2}Ga_{0.8}Nクラッド層（膜厚1.0μm、キャリア濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ）、i型In_{0.15}Ga_{0.85}N活性層（膜厚60Å）、p型Al_{0.2}Ga_{0.8}Nクラッド層（膜厚0.8μm、キャリア濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ）、p型Ga_{0.9}Nコンタクト層（膜厚0.2μm、キャリア濃度 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ）からなっている。駆動電流は、パルス幅1μsec、パルス周期1msecのパルス電流とした。

【0021】本発明の窒化物系III-V族化合物半導体発光素子での図2(c)に示す窓から成長させた構造での発振スペクトルを図3に示す。図3に示すように、レーザの発振スペクトルはほぼ単一のピークとなっており、従来の電極ストライプ構造のレーザより発振波長の単一性が向上している。これは、本発明のように六角柱構造を用いた場合、レーザの共振器長が六角柱構造の大きさのみによって決定され、六角柱構造の大きさを変えることで、極めて容易に単一波長の発振レーザが実現できるためである。

【0022】一方、従来のへき開して共振器端面を形成する場合には、素子作製の歩留り等の問題から数百μm以上に制限されるため、単一波長発振は困難である。なお、六角柱の大きさが小さすぎた場合、上部電極の形成が困難となるため、共振器長としては10μm以上の長さが好ましい。

【0023】また、異なる六角形状の窓から成長させて作製した窒化物系III-V族化合物半導体発光素子の注入される電流密度と光出力との関係を図4に示す。本実施の形態と同一の層構造でポリッシングおよびドライエッチングを用いて作製した従来のレーザに比べ、図2(b)、(c)に示す窓から成長させた構造ではしきい値電流密度が低減できた。これは、本発明の六角柱構造の平行となる2つの面を共振器面として用いた場合、六角柱構造の表面が原子オーダーで平坦な面となっているため、ポリッシングなどで形成した共振器面あるいはドライエッチングで形成したリッジ側面に比べて平坦性が

著しく改善され、その結果、共振器面およびリッジ側面での光の損失が著しく低減されるためである。一方、図2(a)の場合には、共振器面が3方向で形成されるため、光の閉じ込め効率が悪く、発振までに至らなかった。

【0024】また、図4に示されるように1組の対向面積が他の組の対向面積より大きくなるにつれて、しきい値電流密度は減少している。これは、六角柱構造が正六角形の場合、レーザ発振が3つの共振器面方向で起こるため、しきい値電流密度の増大を招くためである。この状態での発振の模式図を図5(a)に示す。しきい値電流密度を低減するには、六角柱の1組の平行な面の対向面積を他の2組の面の対向面積よりも大きくすることが必要である。1組の長辺の長さを b とし、他の最も長い辺を a とすると、 $b \geq 1.5a/7$ を満たす六角形状の窓から成長させた窒化物系III-V族化合物半導体発光素子での発振の模式図を図5(b)に示す。窓の形状は平行となる1組の対向長さを1とした場合に、他の2組の対向長さを 0.2 とした形状である六角形であり、ほぼ一方向からレーザ発振が生じ、わずかに他の2方向からレーザ発振が生じていることが示されている。

【0025】また、 $b \geq 3a$ を満たす六角形の窓から作製した場合には、1方向にのみ共振器が形成され、他の2方向には共振器は形成されずに理想的なレーザ構造となる。この場合の発振の模式図を図5(c)に示す。

【0026】平行となる1組の長辺の面の対向長さを b であり、他の2組の平行な面の対向長さを c とすると、窓のパターン形状の六角形での c/b を横軸にとり、 c/b の時のしきい値電流密度と $c/b=0$ の時のしきい値電流密度との比を縦軸にとり、その相関関係を示す図を図6に示す。実用的には $c/b=0$ の時のしきい値電流密度の2倍までが好ましい。

【0027】一方向にのみ共振器が形成されていること、つまり窓のパターン形状の六角形が $c/b=0$ である場合、つまり $b \geq 3a$ である場合が理想的であるが、図6に示すように、実用的には1つの組みの対向長さに対する他の2つの組の対向長さが 0.2 以下することによって、従来構造のレーザよりもしきい値電流を大幅に低減することが可能であり、実用的と考えられる。この場合、窓のパターン形状の六角形が $b/a=1.5/7$ 以下であるという条件を満たしていればよい。

【0028】(実施の形態2) 実施の形態1では、形成するレーザの六角柱構造と同一形状の窓を設けることによって六角柱構造を得ることが可能となるが、本実施の形態ではより簡便な窓の形状としては長方形として、本実施の形態では、異なる3つの長方形の窓を有する酸化膜を選択成長のマスクとして用いた。図7は長方形の形状の窓からなる層から成長させた六角柱構造の半導体レーザの上面図である。

【0029】長方形の窓の短辺の長さを $50\mu\text{m}$ とし、

図7(a)に示す窓は長辺と短辺の比を 1.15 とした長方形(長辺の長さ $57.5\mu\text{m}$)であり、図7(b)に示す窓は、長辺と短辺の比が 2.0 (比が $2.2/(7 \times (3)^{0.5})$ 以上 $4 \times (3)^{0.5}$ 以下)とした長方形(長辺の長さ $100\mu\text{m}$)、図7(c)に示す窓は長辺と短辺の比が 2.5 (比が $4 \times (3)^{0.5}$ 以上)とした長方形(長辺の長さ $125\mu\text{m}$)である。窓の長方形形状内に窒化物系III-V族化合物半導体発光素子を実施の形態1と同様の製造工程を用いて作製した。

【0030】六角柱構造を正六角形状のレーザを図7(a)に示し、平行となる1組の対向長さを1とした場合に、他の2組の対向長さが 0.2 以下となる六角形柱のレーザを図7(b)に示し、平行となる1組の対向長さを1とした場合に、他の2組の対向長さが 0 となる六角形柱を図7(c)に示す。

【0031】図8に、異なる長方形の窓から成長させたレーザの電流-光出力特性を示す。なお、レーザの層構造は、実施の形態1と同様である。駆動電流は、パルス幅 $1\mu\text{sec}$ 、パルス周期 1msec のパルス電流である。図8から明らかなように、長方形の長辺が短辺に対して大きくなるに従って、しきい値電流密度は減少している。図7(a)に示す正六角形の構造では、発振まで至らなかった。

【0032】図7(c)に示すような理想的な六角柱構造を得るためには長方形の長辺と短辺との比を $4 \times (3)^{0.5}$ 以上にすることが必要である。

【0033】一方向にのみ共振器が形成されているのが理想的であるが、実際のレーザでは、1つの組の対向面積を1とした場合に、他の2組の対向面積を 0.2 以下程度にしても、実施の形態1に記載したように、従来構造のレーザよりもしきい値電流を大幅に低減することが可能であり、この場合には長方形の長辺と短辺との比を $2.2/(7 \times (3)^{0.5})$ 以上にすればよい。

【0034】(実施の形態3) 六角形あるいは長方形の窓のパターン形状での平行な1組の辺と a 方晶である窒化物系III-V族化合物半導体の等価な6つの a 軸のうちの1つと垂直になっていることが望ましい。窒化物系化合物半導体の結晶面と a 軸との関係を図9に示す。図9に示されるように、六角柱構造の壁面が a 軸と直交する面であることに起因する。実際の結晶成長の場合には、もう少し条件をゆるめることができ、 $90^\circ \pm 5^\circ$ の角度範囲内にあればよい。

【0035】基板としてSiCを用いた場合、SiC基板の a 軸に対して長方形の長辺が 90° の角をなす方向に形成された窓の形状を図10(a)に示す。次に、窒化物系III-V族化合物半導体の a 軸に対し長方形の長辺が 45° の角をなす方向に形成された窓の形状を図10(b)に示す。更に、窒化物系III-V族化合物半導体の a 軸に対し長方形の長辺が 60° の角をなす方向に形成された窓の形状を図10(c)に示す。図1

0(a)~(c)に示す窓の形状内に窒化物系III-V族化合物半導体を成長させた六角柱構造も図中に示している。長方形の形状は、長辺と短辺の比が2.5とした長方形(長辺の長さ125 μ m)であり、同一のものとした。この図により、図10(a)に示すSiC基板上のa軸に対し長方形の長辺が90°の角をなす方向に形成された窓のパターン形状の時、最も望ましい六角柱構造の窒化物系III-V族化合物半導体が形成されていることがわかる。

【0036】一般に、化合物半導体の結晶成長方向は、基板1の結晶構造、面方位によって決定される。基板1として6H-SiCのようなウルツ鉱構造を有する材料の(001)面(c面)を用いた場合、基板のa軸と窒化物系III-V族化合物半導体であるGaNのa軸は完全に一致し、長方形の長辺をこれと直交するように窓を形成すればよい。基板としてサファイアを用いた場合には、サファイアのa軸に対してGaNのa軸が30°回転した方向にGaNが成長するため、長方形の長辺をサファイア基板の30°回転するように窓を形成すればよい。

【0037】図11に実施の形態1と同様の製造工程を用いて作製したレーザの電流-光出力特性を示す。なお、レーザの層構造は、実施の形態1と同様である。駆動電流は、パルス幅1 μ sec、パルス周期1msecのパルスである。

【0038】図11から明らかなように、図10(a)に示す窒化物系III-V族化合物半導体発光素子の共振器面が形成されレーザ発振しているが、図10(b)、(c)に示す窒化物系III-V族化合物半導体では発振の効率が非常に悪かった。また、図10(b)、(c)の場合には、得られる窒化物系III-V族化合物半導体の形状が一定していなかった。したがって、六角形あるいは長方形の平行な1組の辺が六方晶をとる窒化物系III-V族化合物半導体の等価な3つのa軸のうちの1つと垂直になっていることが望ましい。

【0039】なお、実施の形態では、図12(a)に示す直交する2本の2回対称軸を有する六角柱構造について述べているが、図12(b)に示すような1本の2回対称軸を有する六角柱構造や、対称軸を有しない図12(c)に示すような六角柱構造でもレーザ発振可能であるが、共振器面のうちの1つの組の対向面積を1とした場合に、他の2組の対向面積が0.2以下となっていることが好ましい。

【0040】本発明は、六方晶をとる窒化物系III-V

族化合物半導体であれば、GaN、InGaN、AlGaN以外にも適用でき、例えばBNでもよい。

【0041】

【発明の効果】本発明において見出したレーザ構造を用いることにより、共振器やレーザ素子の作製が容易になり、また、窒化物系III-V族化合物半導体素子特性が向上し、さらに容易に単一波長発振レーザが実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る六角柱構造のレーザ素子の製造工程を示す斜視図である。

【図2】本発明に係る窓の形状を示す図である。

【図3】実施の形態1のレーザの発振スペクトルを示す図である。

【図4】実施の形態1のレーザの電流-光出力特性を示す図である。

【図5】実施の形態1に示す六角柱構造のレーザの共振器面の関係を示す図である。

【図6】 c/h と、 $c/h=0$ の時のしきい値電流密度に対するしきい値電流密度の比との相関を示す図である。

【図7】実施の形態2の長方形の窓から成長させた六角柱構造のレーザの上面図である。

【図8】実施の形態2のレーザの電流-光出力特性を示す図である。

【図9】窒化物系化合物半導体結晶のa軸と結晶面の関係を示す図である。

【図10】実施の形態3の長方形の窓から成長させた六角柱構造のレーザの上面図である。

【図11】実施の形態3のレーザの電流-光出力特性を示す図である。

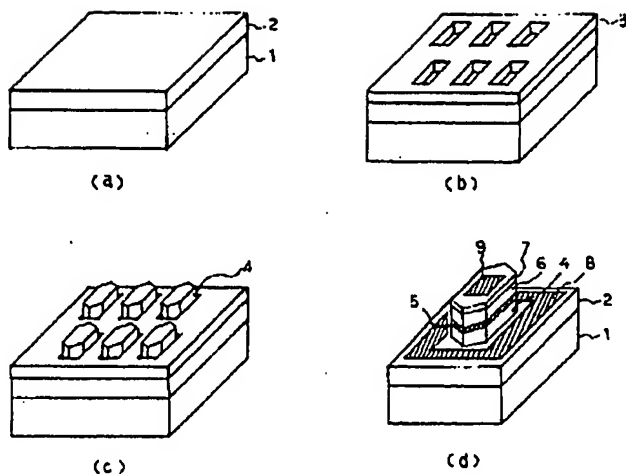
【図12】さまざまな六角柱構造のレーザを示す図である。

【図13】従来構造のレーザを示す図である。

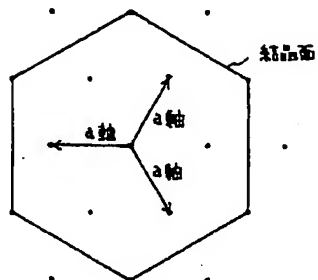
【符号の説明】

- 1 基板
- 2 第1導電型GaN単結晶薄膜
- 3 SiO₂膜
- 4 第1導電型AlGaNクラッド層
- 5 アンダーInGaN活性層
- 6 第2導電型AlGaNクラッド層
- 7 第2導電型GaNコンタクト層
- 8 第1導電側電極
- 9 第2導電側電極

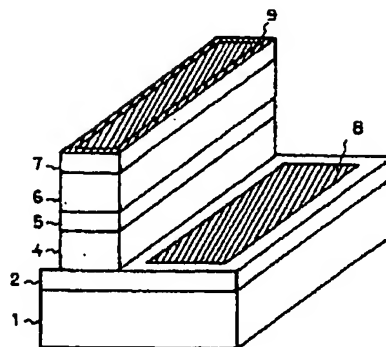
【図1】



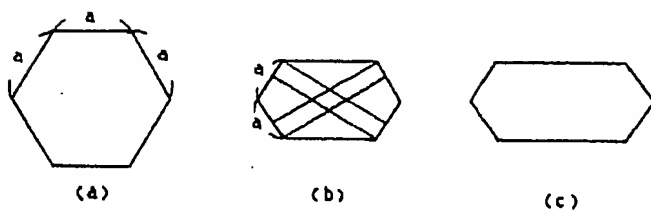
【図9】



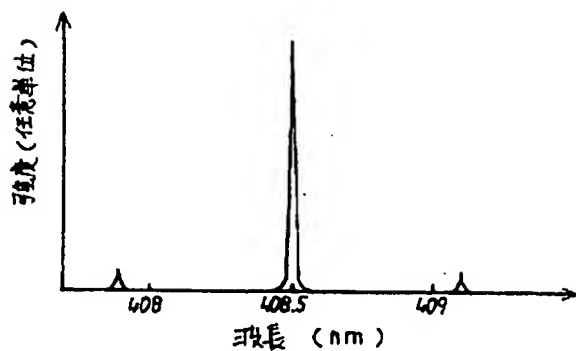
【図13】



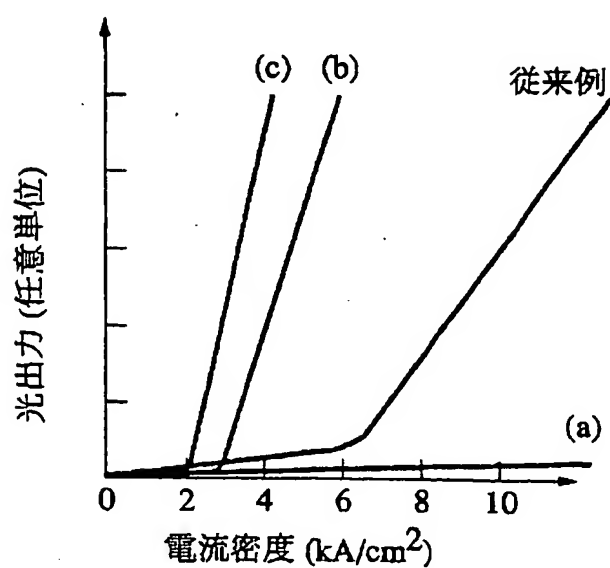
【図2】



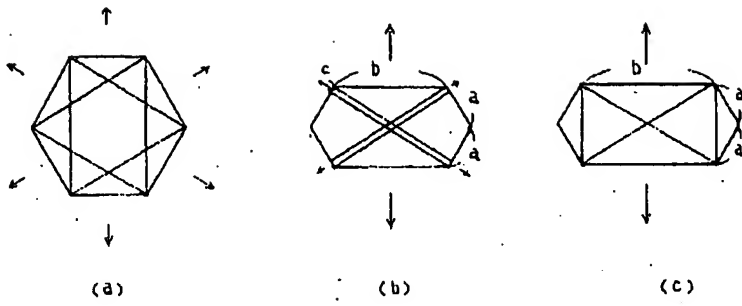
【図3】



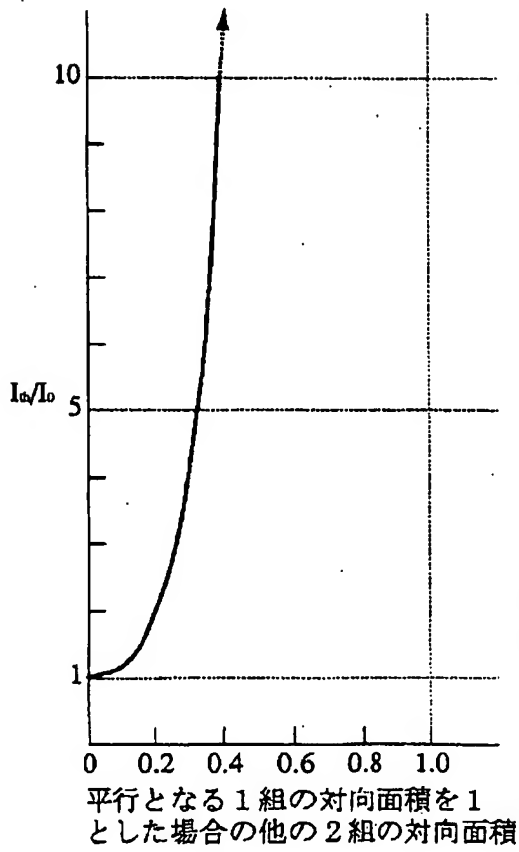
【図4】



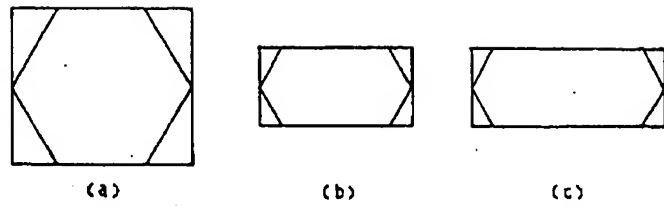
【図5】



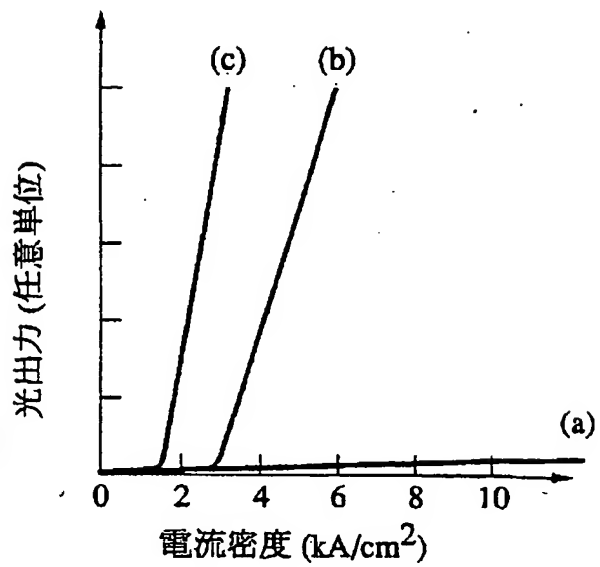
【図6】



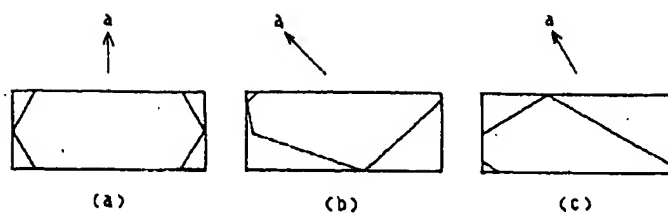
【図7】



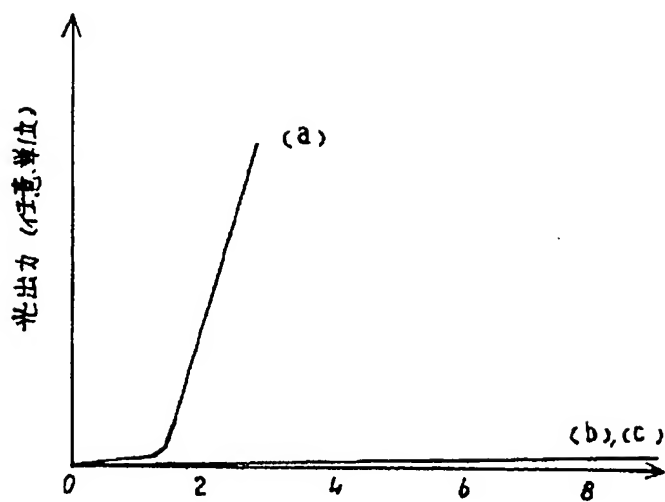
【図8】



【図10】



【図11】



【図12】

